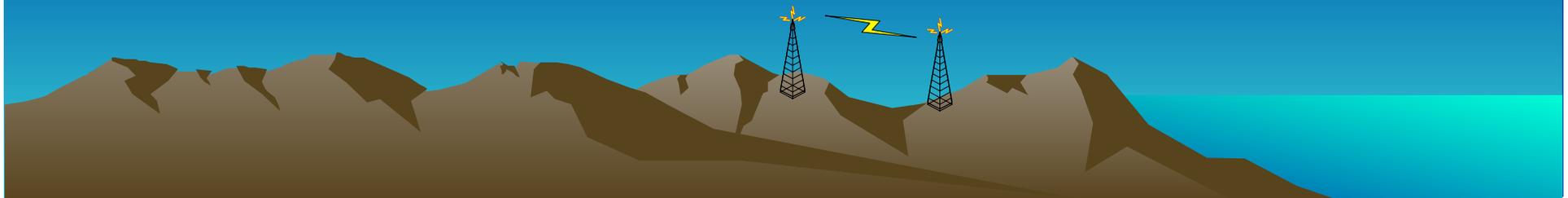




# Análise do desempenho do TCP sobre redes WiMAX

Daniel Iser Amorim





- Empresa de TIC da cidade de Porto Alegre
- Interconecta os órgãos municipais
- Provê serviços para clientes corporativos
- PIX do PTT de Porto Alegre





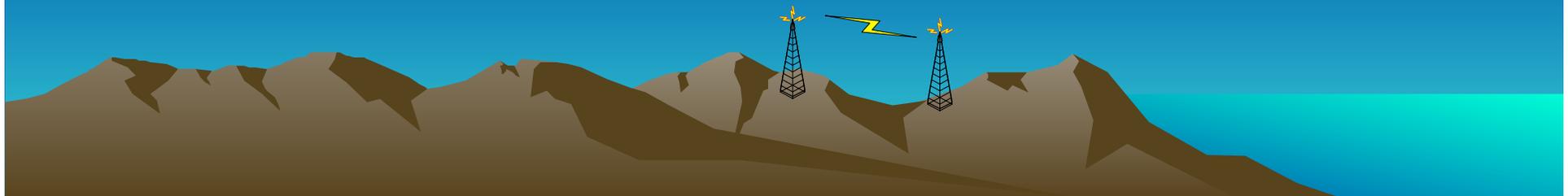
- Malha de fibras ópticas
- Tecnologia ATM/Metro-Ethernet
- Rede de rádios



# Objetivos

---

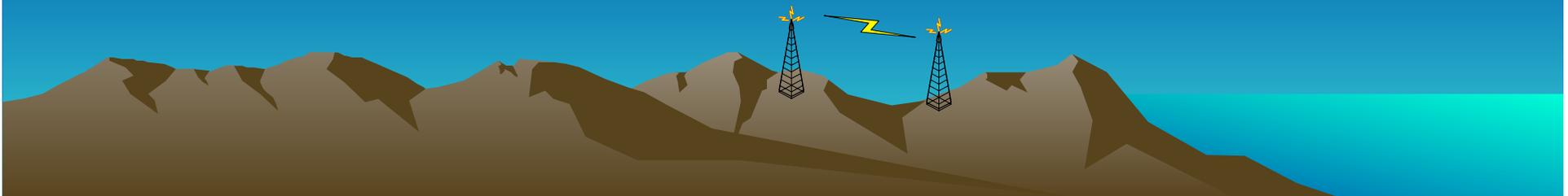
- Estudo do comportamento do protocolo TCP sobre redes WiMAX em um ambiente real
- Análise do desempenho das principais implementações do TCP
- Otimizações de parâmetros para este tipo de rede



# Fundamentação Teórica

---

- O TCP foi desenvolvido para trabalhar em redes com baixas taxas de erros
- Enlaces de rádio caracterizam-se por apresentarem perdas esporádicas de dados na interface aérea.
- Em geral o TCP não trabalha bem em enlaces de rádio.
- As redes WiMAX são fundamentadas em enlaces de rádio



# Relevância

---

## ➤ Relevância científica

- WiMAX - potencial para provimento de acesso à banda larga
- Massiva utilização do Protocolo TCP
- Conhecimento da interação dessas tecnologias.

## ➤ Relevância pessoal

- Desenvolvimento de pesquisa na área de redes
- Implantação da rede Porto Alegre Wireless



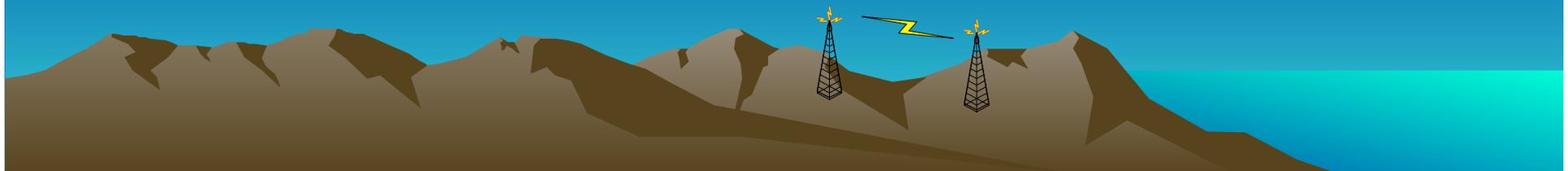
# Fundamentação teórica

---

## Características relevantes do protocolo TCP

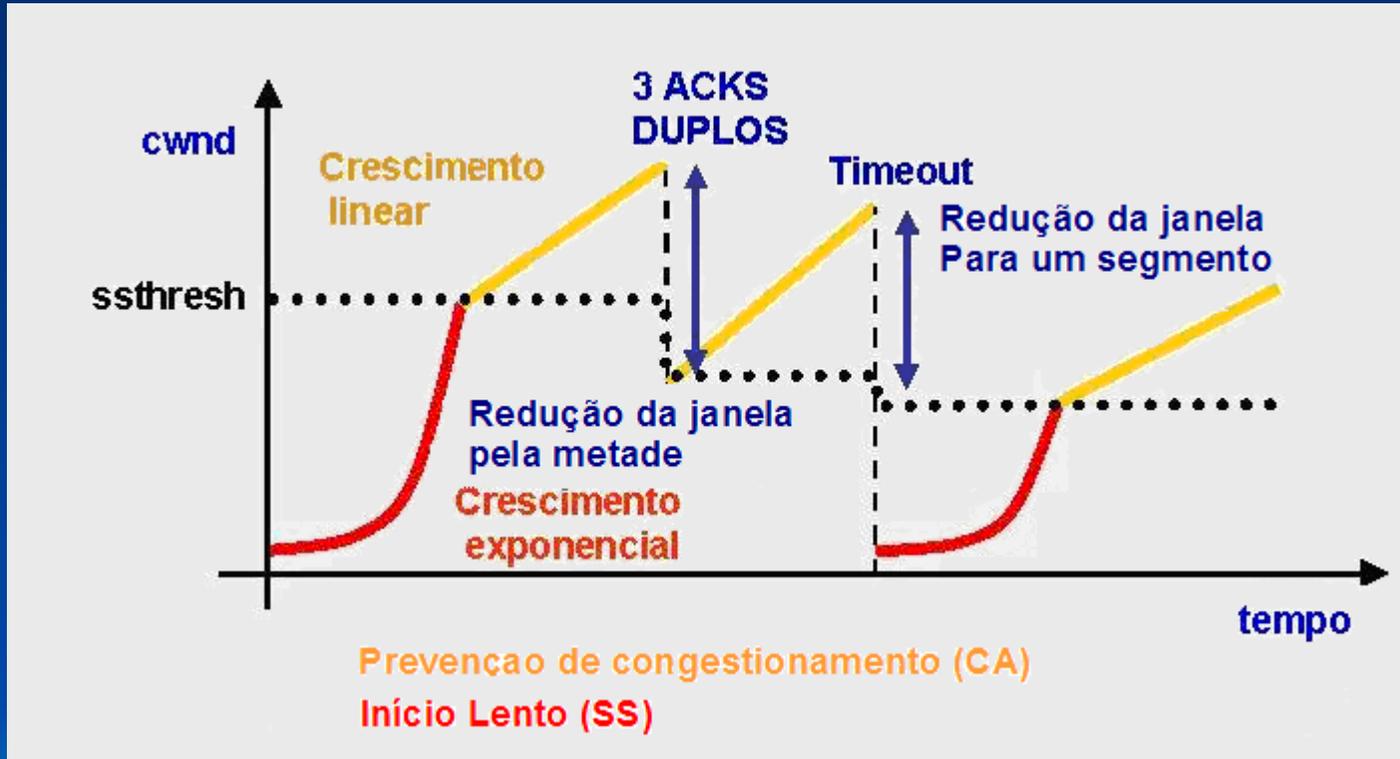
### Problema:

- Infere congestionamento indiretamente pela perda de pacotes
- Reduz a janela de Transmissão/Congestionamento
- Não distingue a perda de dados de congestionamento



# Fundamentação teórica

## Características do protocolo TCP



Comportamento da janela de congestionamento



# Fundamentação Teórica

---

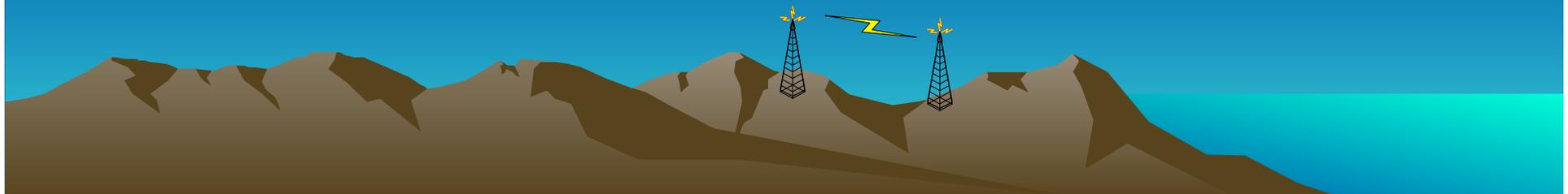
## Características do Padrão IEEE-802.16

### ➤ Gerais

- Altas taxas de transmissão
- Alcance a nível metropolitano
- Possui atributos de qualidade de serviço
- Baixo custo de implantação
- Atende a centenas de clientes

### ➤ Específicas

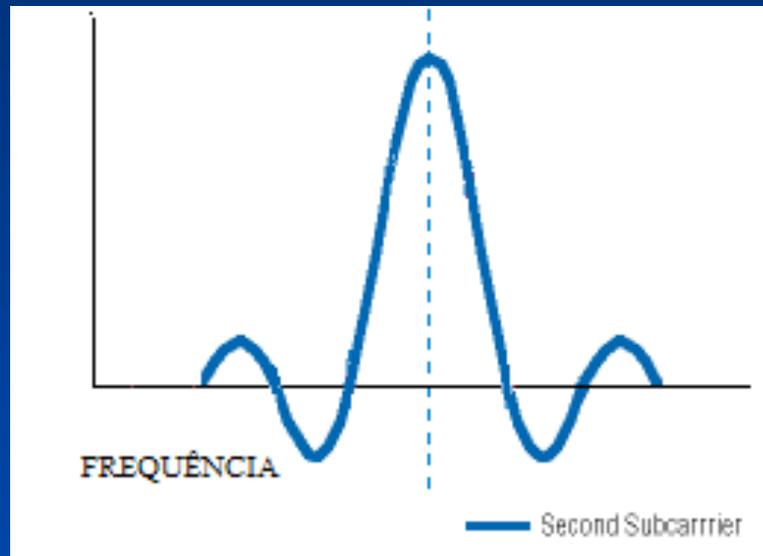
- Emprega a técnica de transmissão (OFDM)
- Aplica correção erros tipo (FEC)



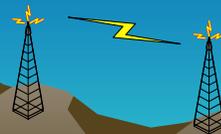
# Fundamentação teórica

---

## Características convencionais de modulação



Modulação com uma portadora

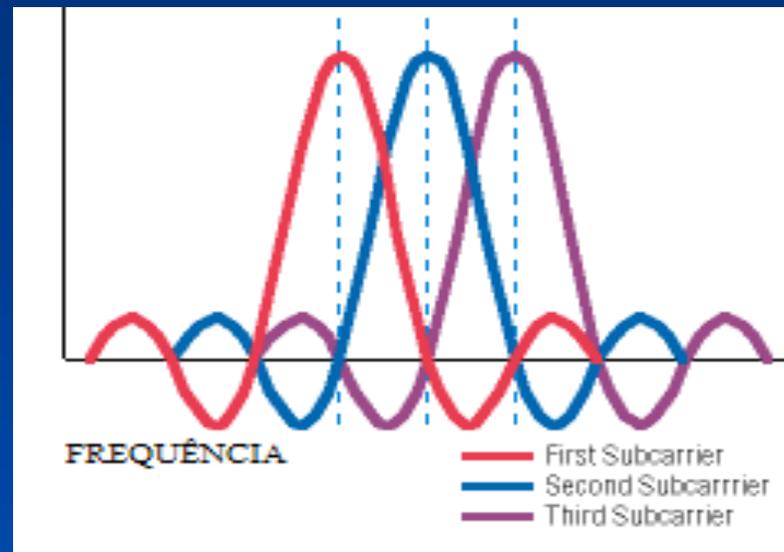


# Fundamentação teórica

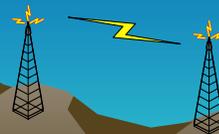
---

Características do Padrão IEEE-802.16

OFDM – Multiplexação por Divisão de Freqüências Ortogonais



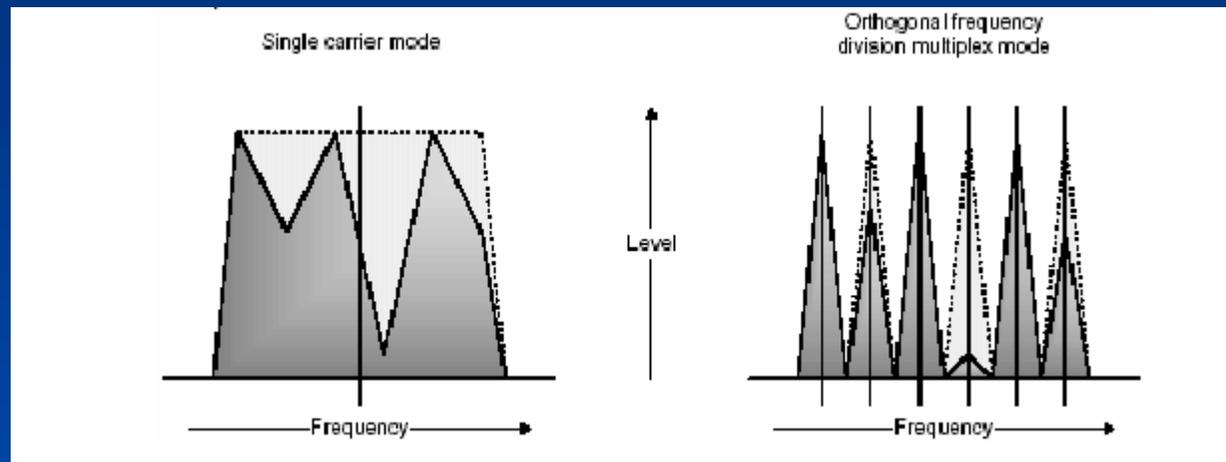
Modulação com várias portadoras



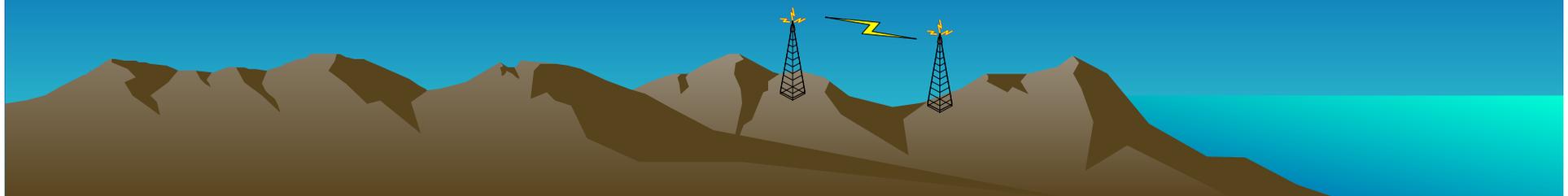
# Fundamentação teórica

Características do Padrão IEEE-802.16

OFDM – Multiplexação por divisão de frequências Ortogonais



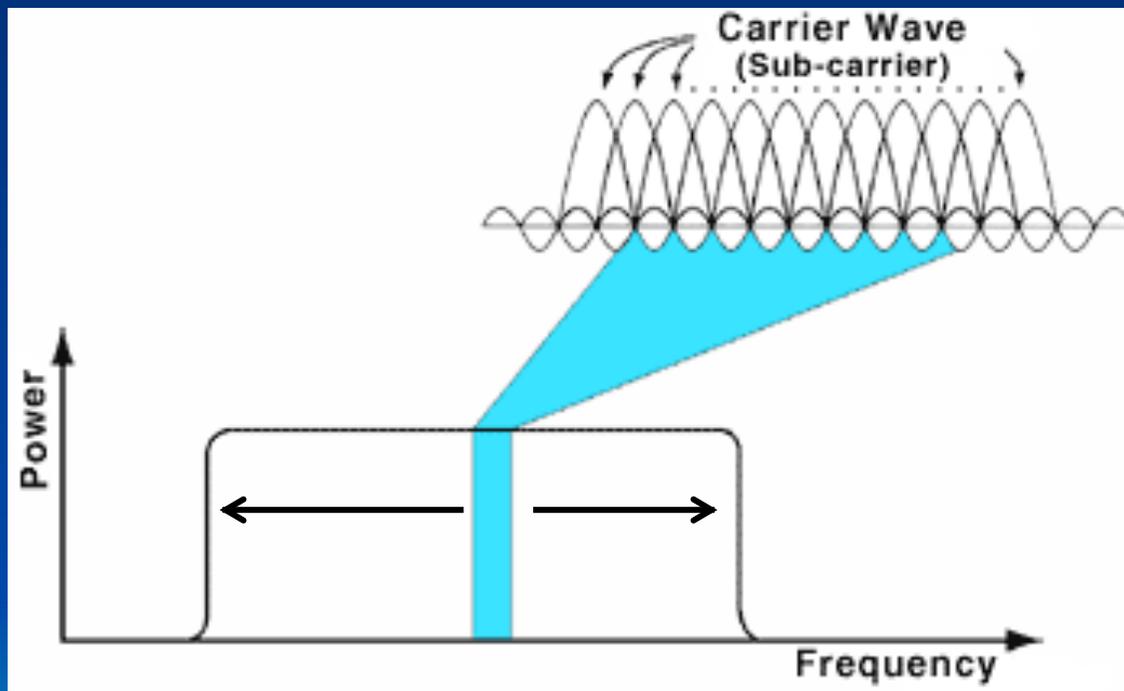
Modulação com várias portadoras



# Fundamentação teórica

Características do Padrão IEEE-802.16

OFDM – Multiplexação por divisão de frequências Ortogonais



Modulação com 256 portadoras



# Fundamentação teórica

---

Características do Padrão IEEE-802.16

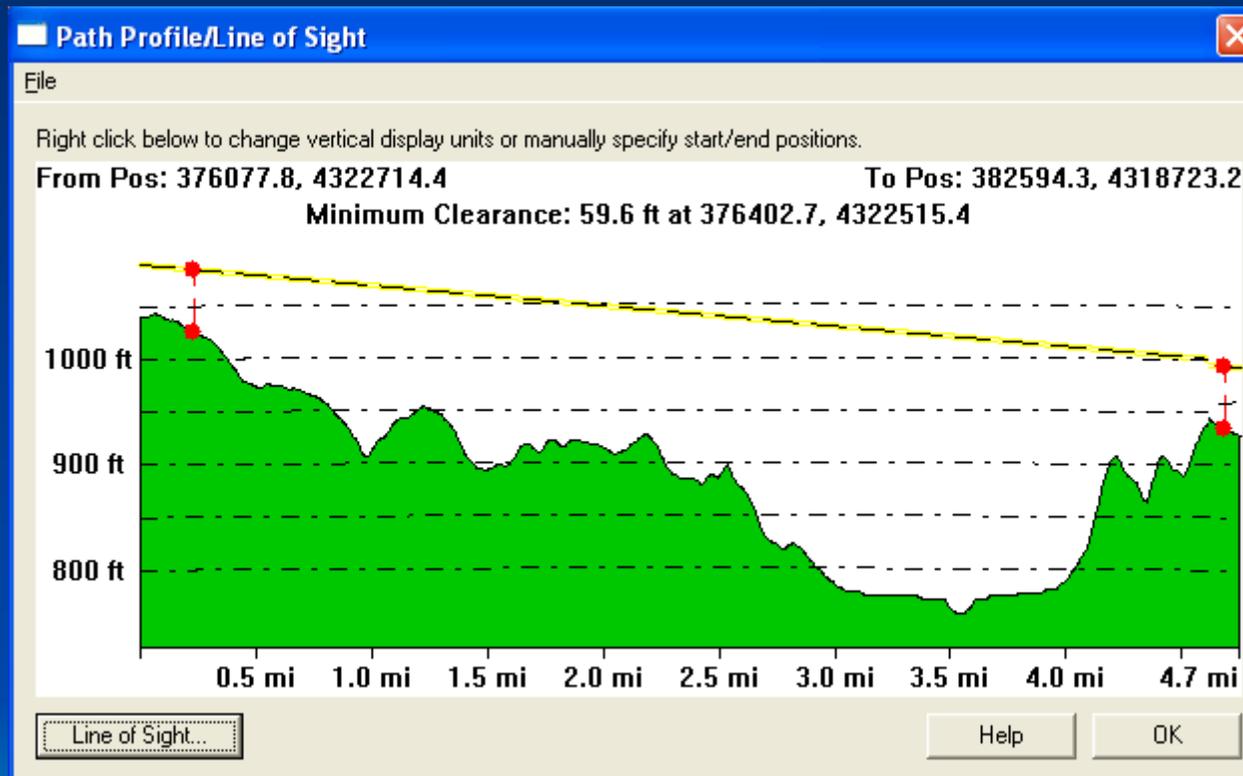
OFDM – Multiplexação por divisão de frequências Ortogonais

- Portadoras com taxas de símbolos menores
- Redução da interferência inter-simbólica
- Redução da sensibilidade à interferências externas
- Permite transmissão por multi-caminhos
- Permite transmissão sem visada direta – NLOS

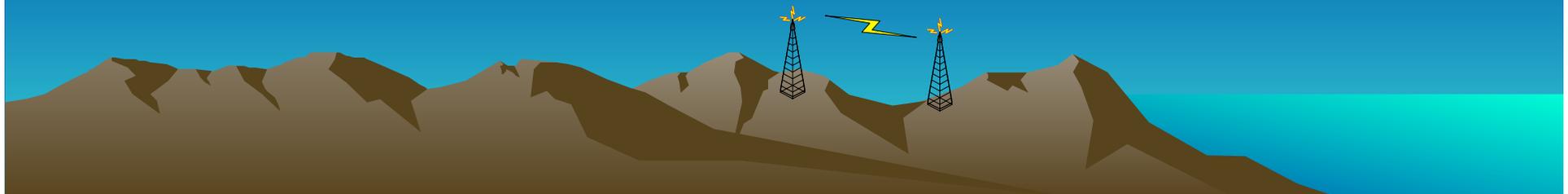


# Fundamentação teórica

## Características de linha de visada em sistemas convencionais

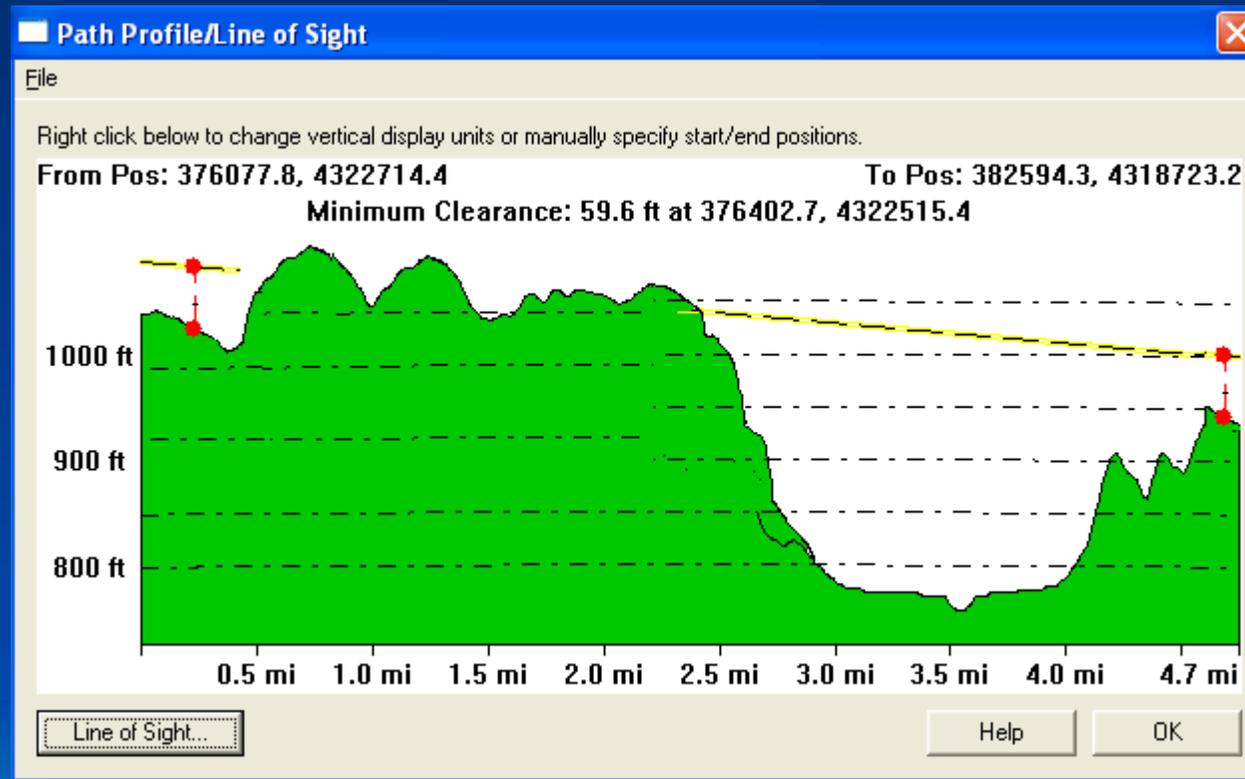


Enlace de rádio com linha de visada - LOS



# Fundamentação teórica

## Características de linha de visada em sistemas convencionais

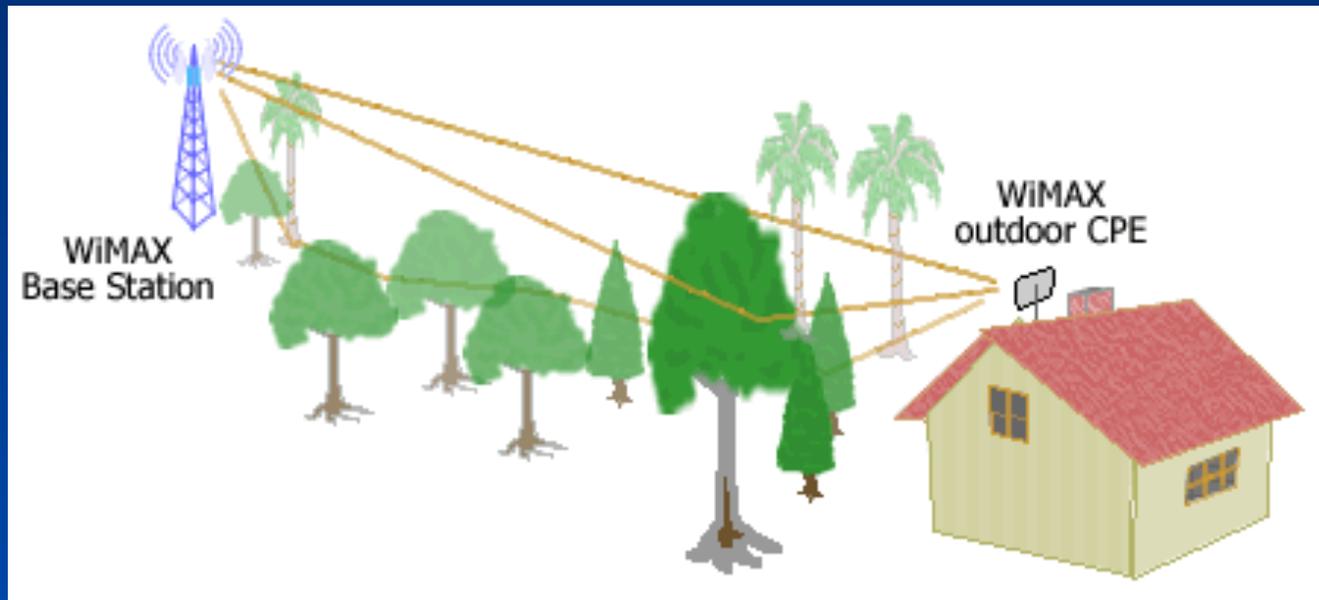


Enlace de rádio sem linha de visada - NLOS



# Fundamentação teórica

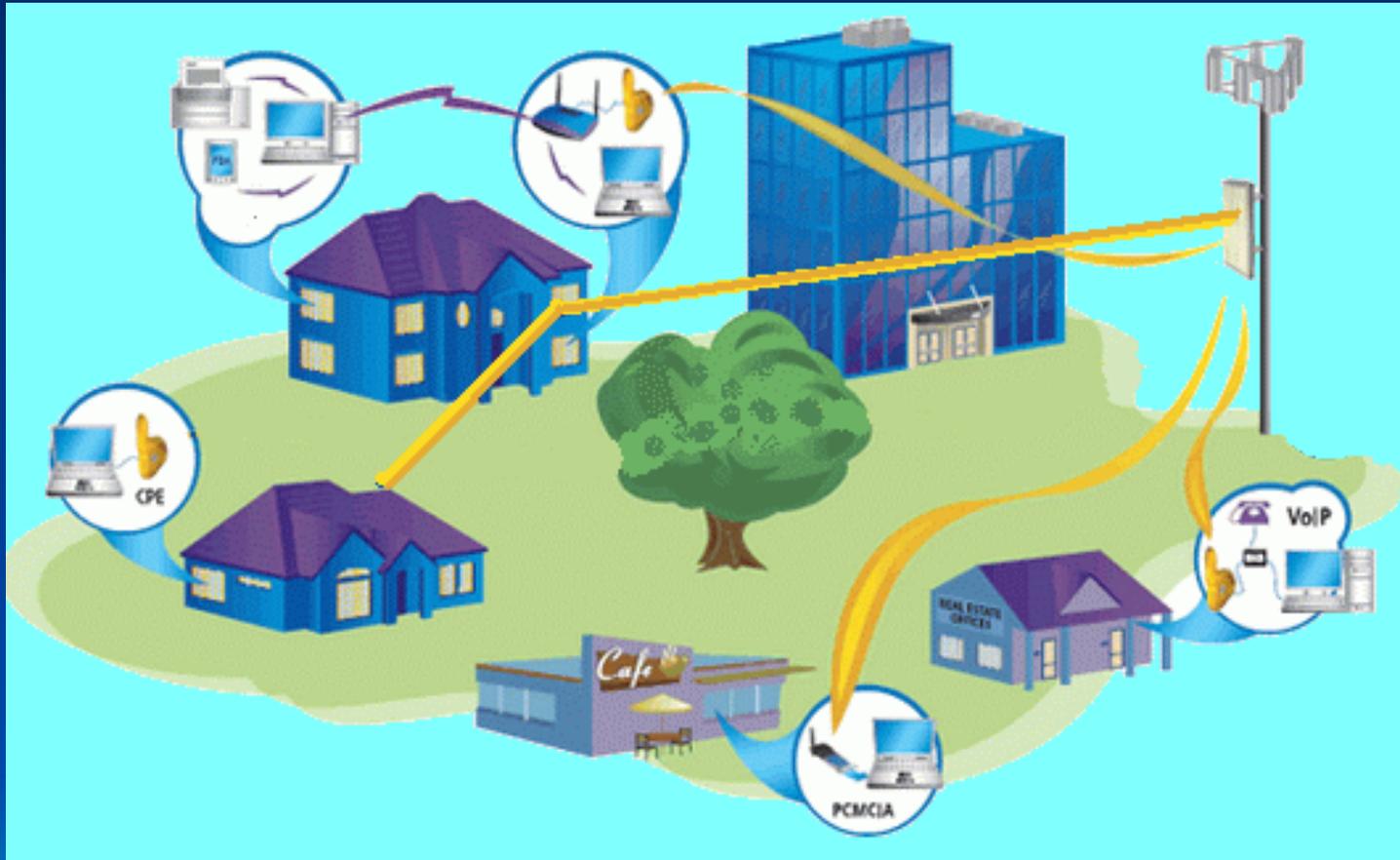
## Características do Padrão IEEE-802.16



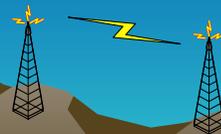
**Enlace de transmissão por multi-caminhos - NLOS**



# Fundamentação teórica



Enlaces de transmisión de perfil misto – LOS/NLOS



# Proposta e metodologia

---

## Descrição de perfil de visada e qualidade de sinal

➤ Foram criados 4 perfis de enlace de rádio a serem analisados:

- **Enlaces com linha de visada - LOS**

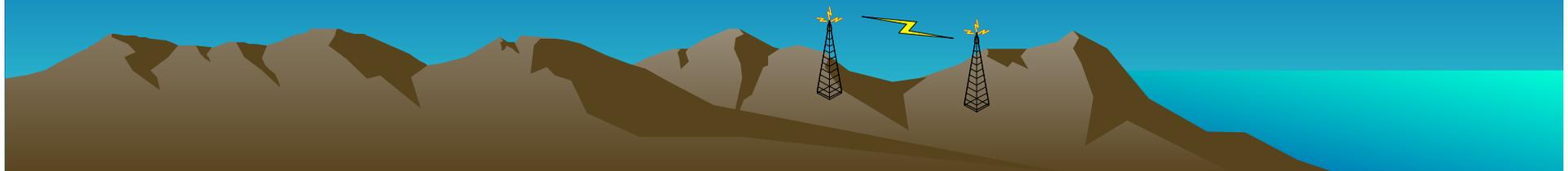
- 1- Com boas condições de sinal (SNR=30 dB)

- 2- Com degradação de sinal (SNR=10 dB)

- **Enlaces sem linha de visada - NLOS**

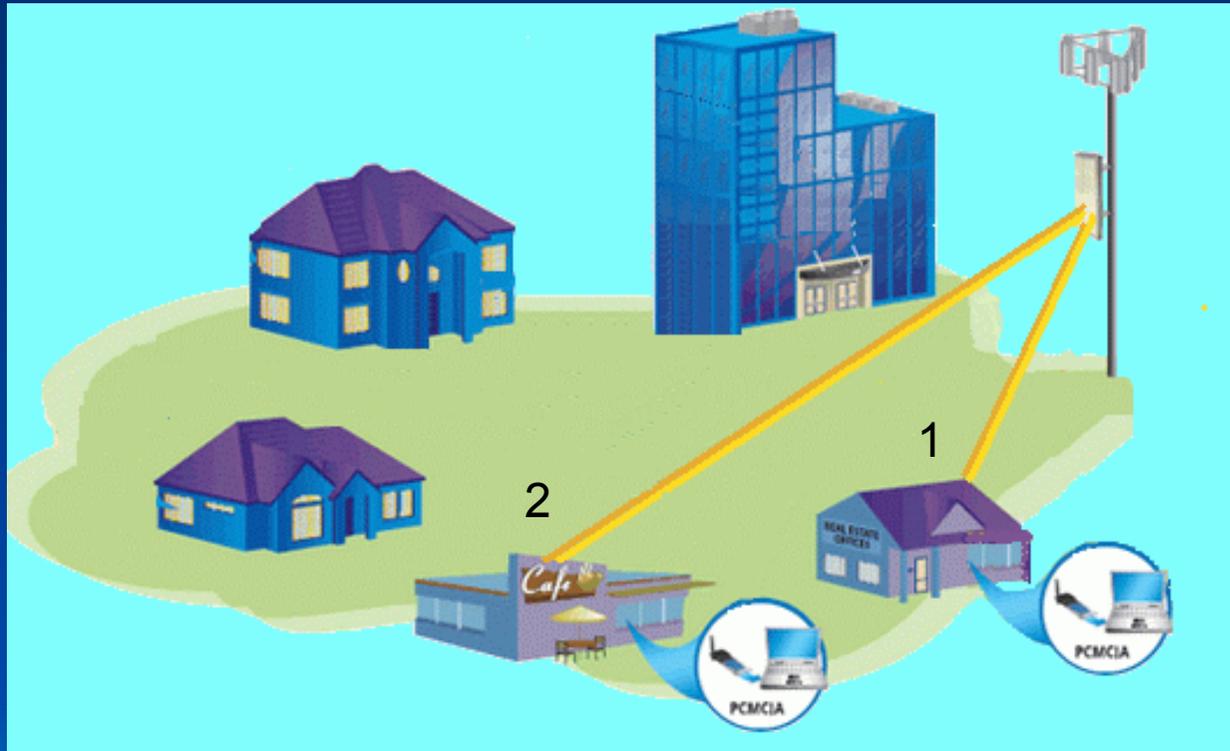
- 1- Com boas condições de sinal (SNR=30dB)

- 2- Com degradação de sinal (SNR=10 dB)



# Proposta e metodologia

## Enlaces com linha de visada direta - LOS



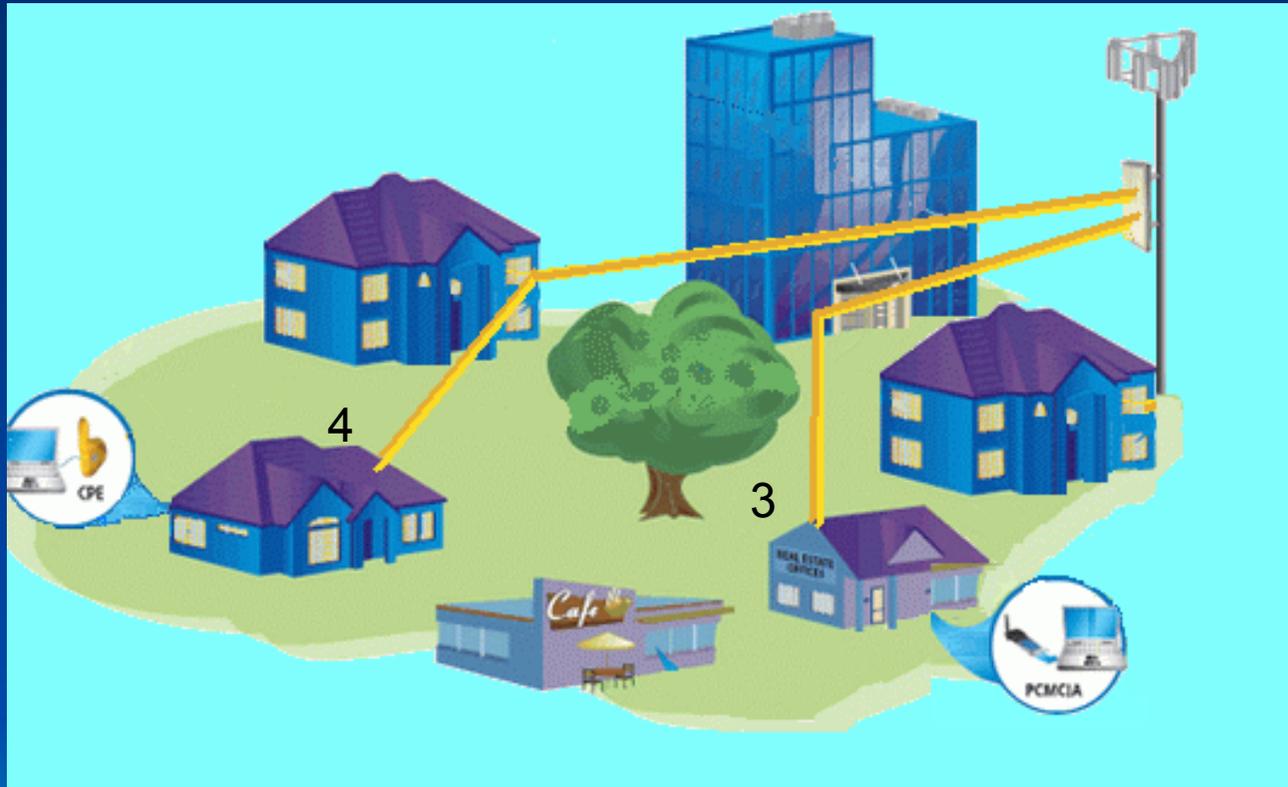
1 - Enlace com boas condições de sinal (SNR=30dB)

2 - Enlace com degradação de sinal (SNR=10dB)



# Proposta e metodologia

## Enlaces sem linha de visada direta - LOS



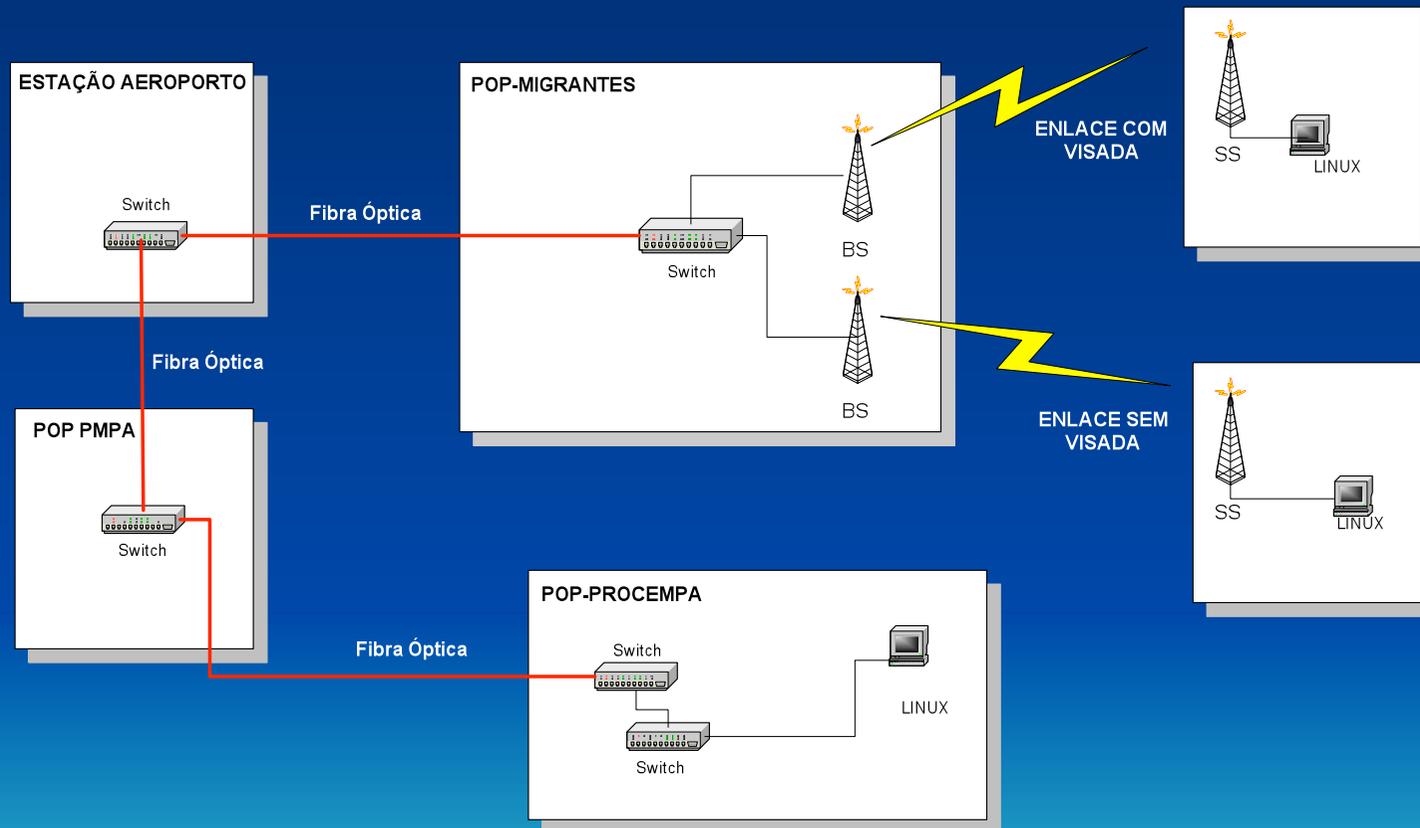
3 - Enlace com boas condições de sinal (SNR=30dB)

4 - Enlace com degradação de sinal (SNR=10dB)



# Proposta e metodologia

## TOPOLOGIA DE TESTE





# Proposta e metodologia



Imagem de satélite do enlace de perfil sem linha de visada

# Proposta e metodologia

---

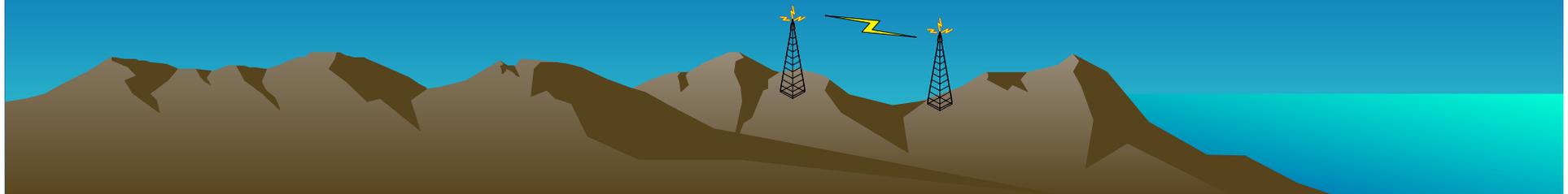
## Definições dos parâmetros dos testes

### ➤ Tipo de tráfego

- Fluxo em massa (*bulk*), explorando a maior banda passante possível, utilizando o IPERF para geração de tráfego. Segundo (Barton, 2003) o IPERF é uma das ferramentas que mais atende as recomendações da RFC 2544

### ➤ Tamanho de segmentos:

- 6 tamanhos de segmentos, de 64 Bytes até 64KB
- Conforme RFC 2544: “pelo menos cinco tamanhos de pacotes devem ser testados”



# Proposta e metodologia

---

## Definições dos parâmetros dos testes

- Tamanho de janela de congestionamento (buffer Tx/Rx)
  - Janelas de 2 Kbytes à 512 Kbytes

Baseado no produto BDP (Largura de banda x Atraso)

$$B = L \times RTT$$

$$B = 3,4 \times 10^7 \times 1 \times 10^{-2} = 3,4 \times 10^5 \text{ bits}$$

$$B = 3,4 \times 10^5 \div 8 = 42,5 \times 10^3 \text{ Bytes}$$

$$B = 42,5 \text{ KBytes}$$

Cálculo do BDP

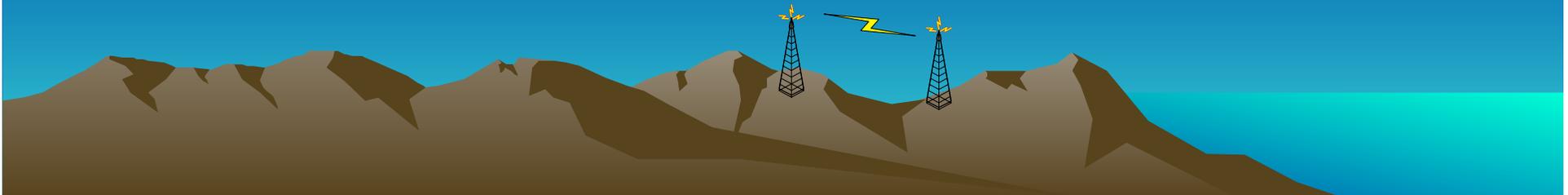


# Proposta e metodologia

---

## Definições dos parâmetros dos testes

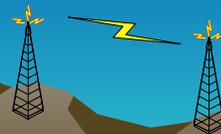
- Implementações do protocolo TCP utilizadas nos testes
  - Reno
  - Vegas
  - Westwood
  - Veno
  - Hybla
  - Cubic
  - Bic
  - Highspeed
  - Scalable.



# Proposta e metodologia

---

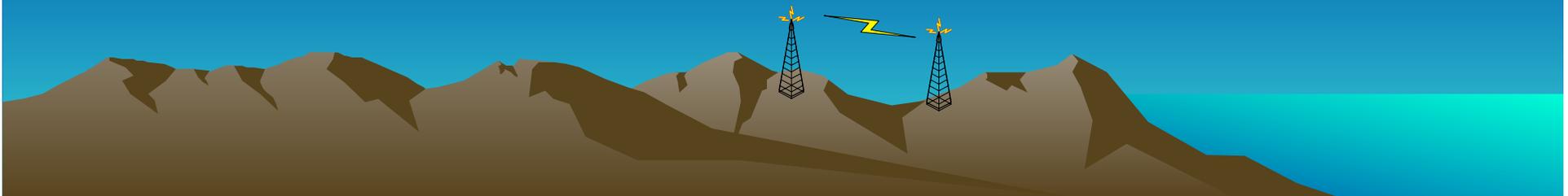
- Tarefas executadas para realização do trabalho
  - Compilação do Kernel do linux e instalação de módulos, Implementações do TCP no núcleo do sistema Expect, Iperf, Iptraf, Gnuplot, Kprobe, Tcprobe.
  - Desenvolvimento de *scripts shell* e programas em PHP
  - Estudo de viabilidade de visada entre as antenas
  - Instalação dos rádios e conexão da BS ao *Backbone*
  - Realização dos ensaios nos perfis de visada e qualidade de sinal 270 combinações de parâmetros x 4 perfis
  - Consolidação dos resultados



# Resultados esperados

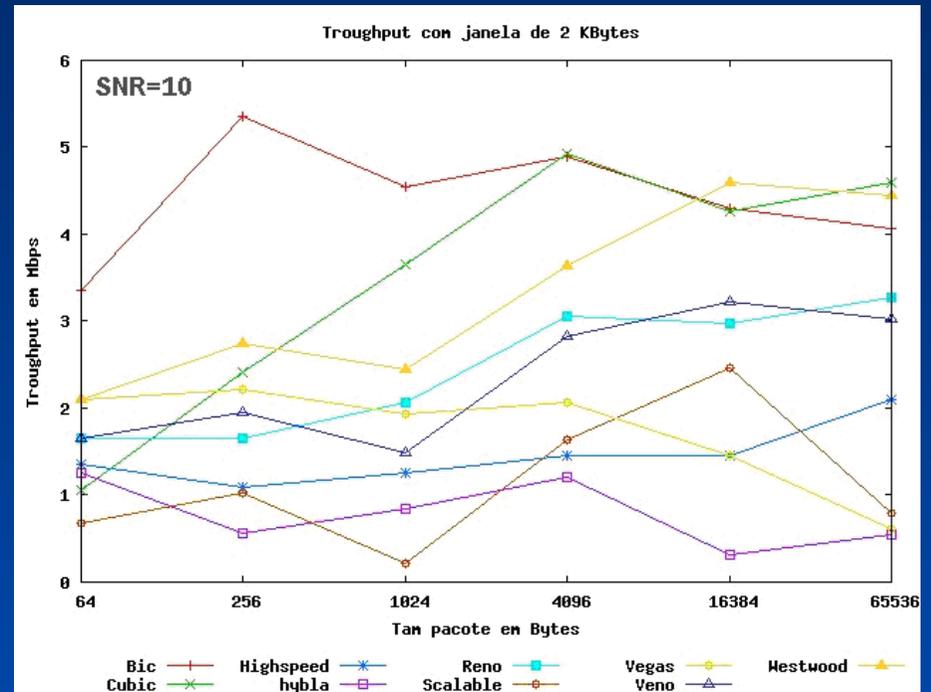
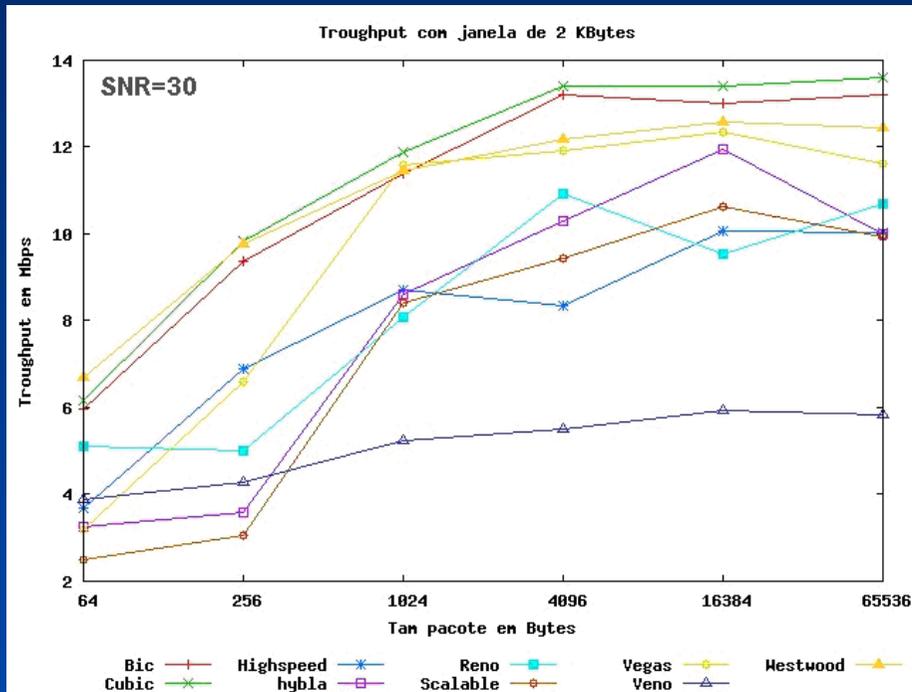
---

- Encontrar a implementação do TCP que melhor se adapte às características das redes WiMAX e apresentar os parâmetros de melhor desempenho.
- Expectativa de alguns protocolos apresentarem melhores resultados, como o TCP Westwood.



# Resultados

## Enlace com visada direta



Enlace com boas condições de sinal

Buffers abaixo do BDP

2KBytes

= 2KBytes

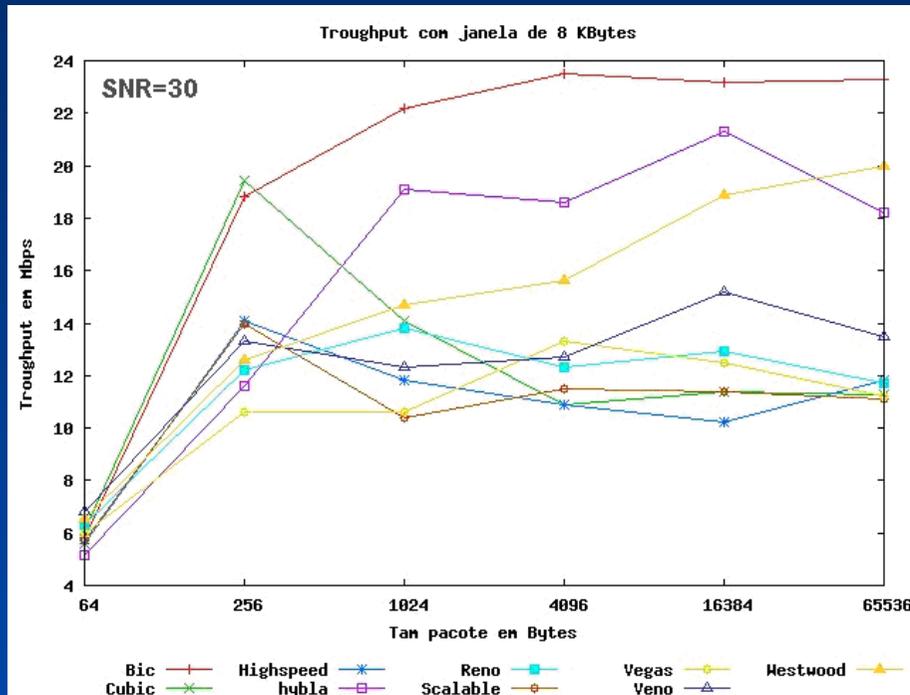
Enlace com degradação

Buffers abaixo do BDP =



# Resultados

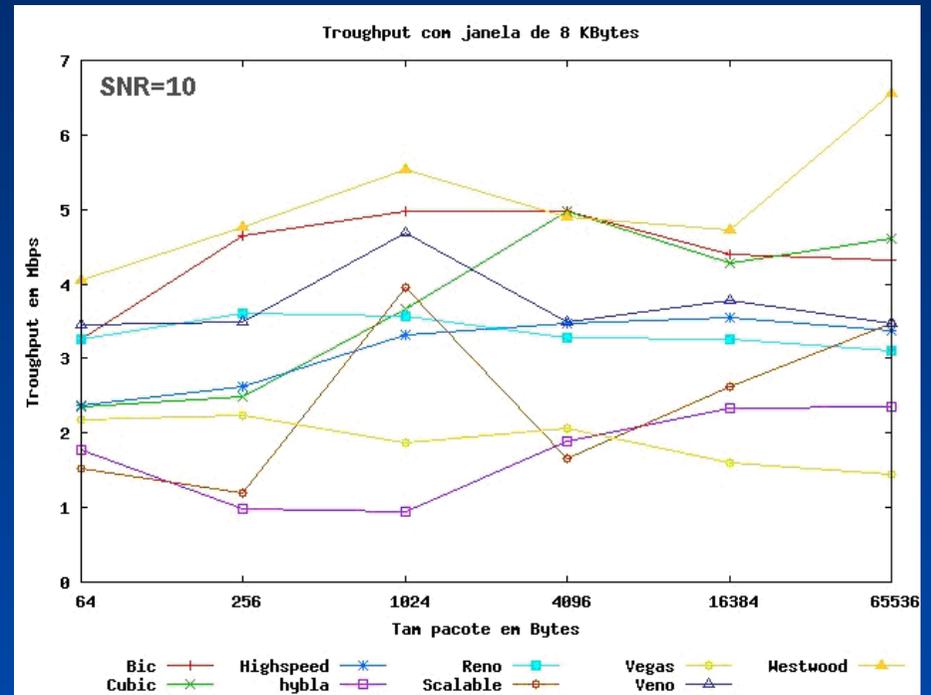
## Enlace com visada direta



Enlace com boas condições de sinal

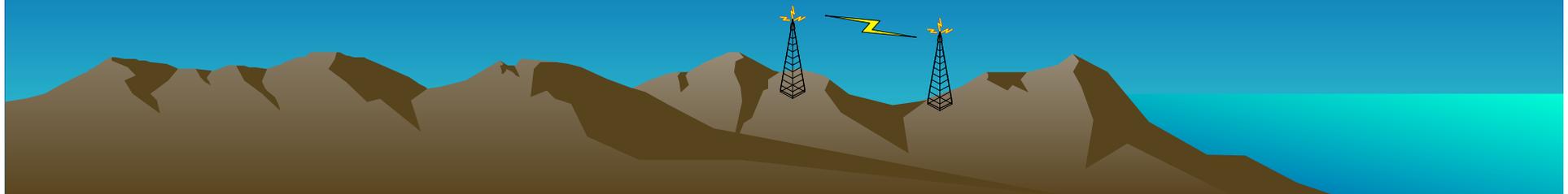
Buffers abaixo do BDP = 8KBytes

Crescimento de 72%



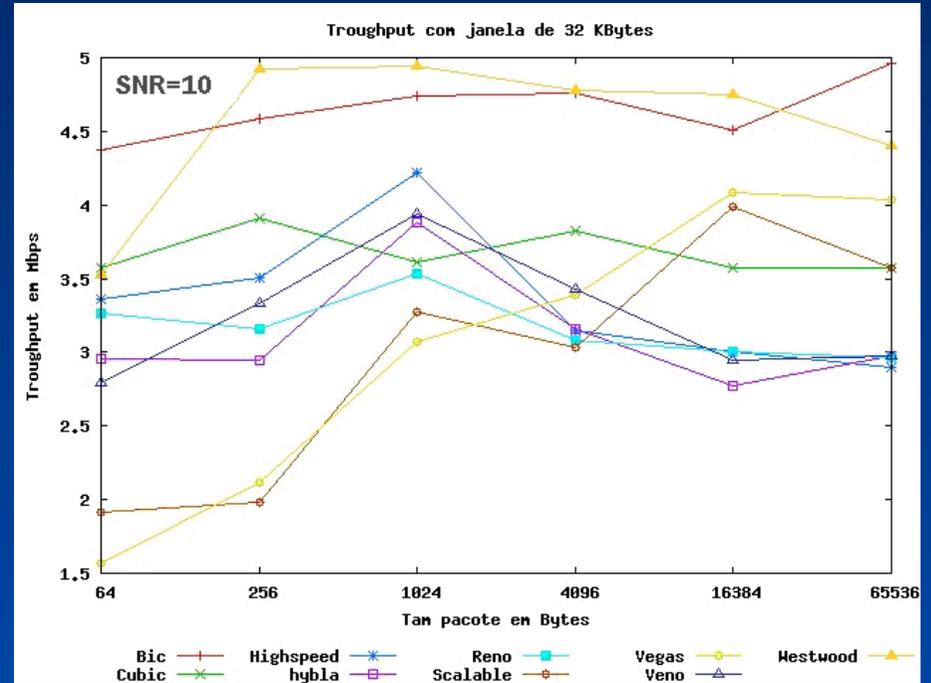
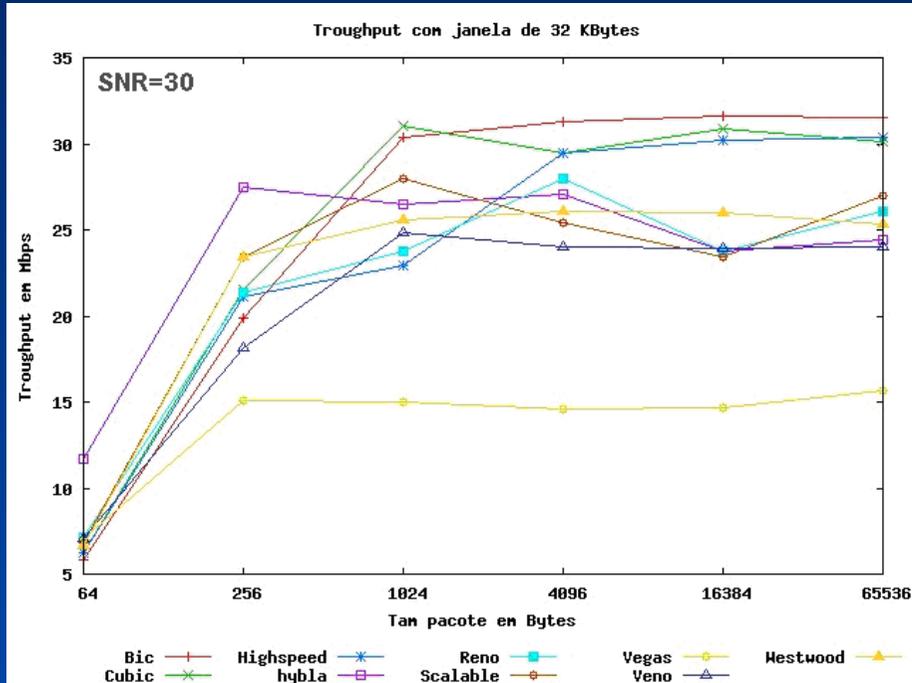
Enlace com degradação

Buffers abaixo do BDP = 8KBytes



# Resultados

## Enlace com visada direta



Enlace com boas condições de sinal

Buffers abaixo do BDP = 32KBytes  
32KBytes

Crescimento de 33%

Enlace com degradação

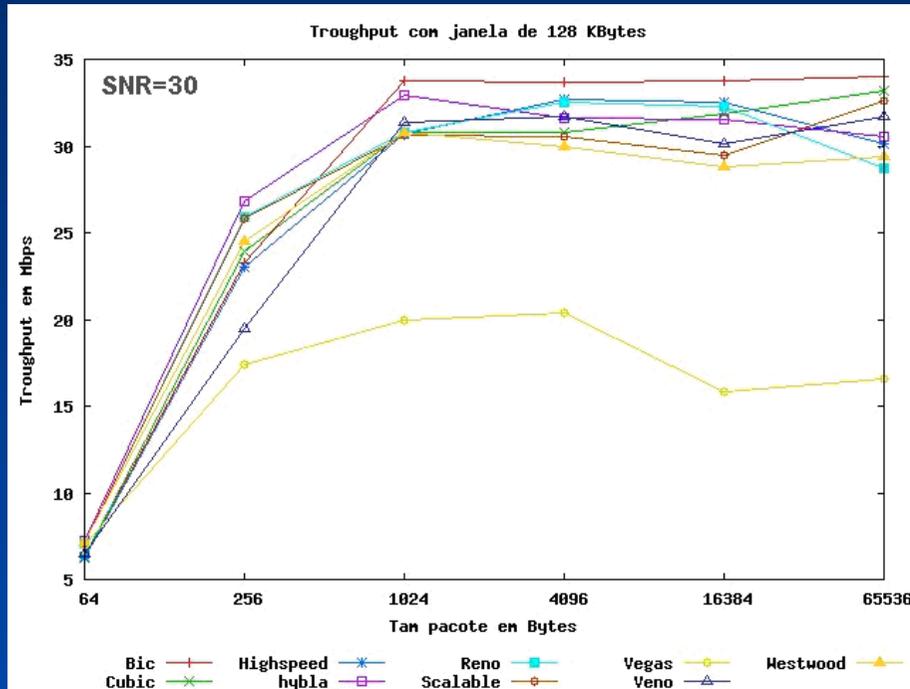
Buffers abaixo do BDP =

Destaque do Westwood e BIC

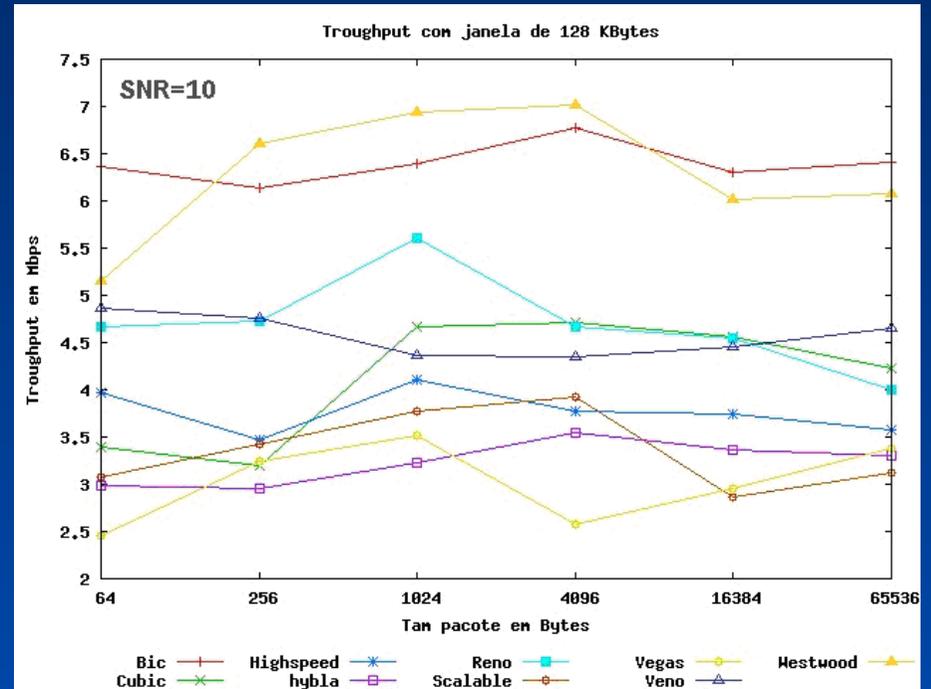


# Resultados

## Enlace com visada direta



Enlace com boas condições de sinal  
Buffers = 128 Kbytes  
TCP-BIC alcança o limite de banda

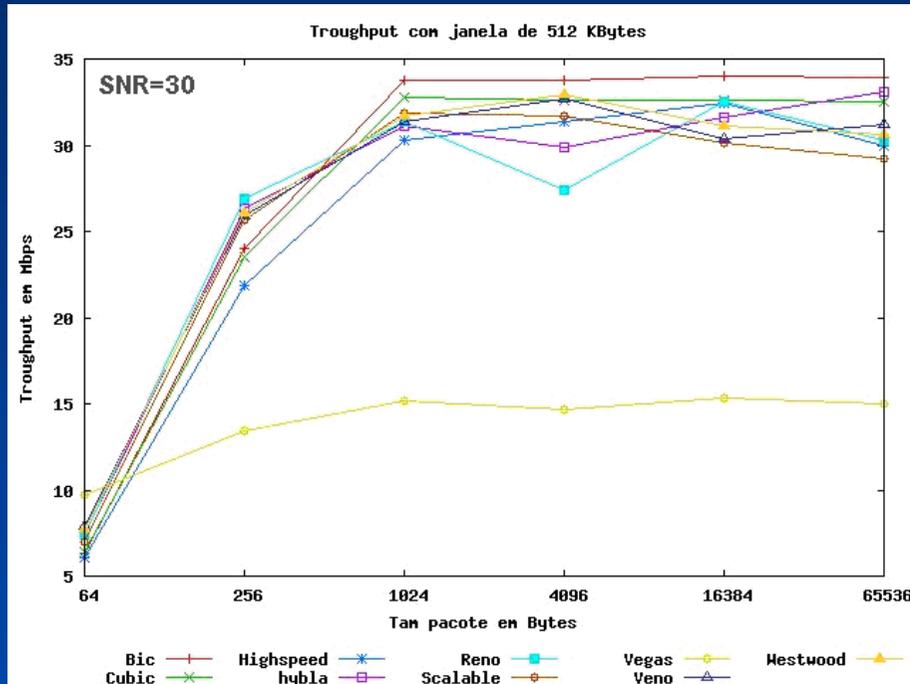


Enlace com degradação  
Buffers = 128 Kbytes  
Destaque do Westwood e BIC

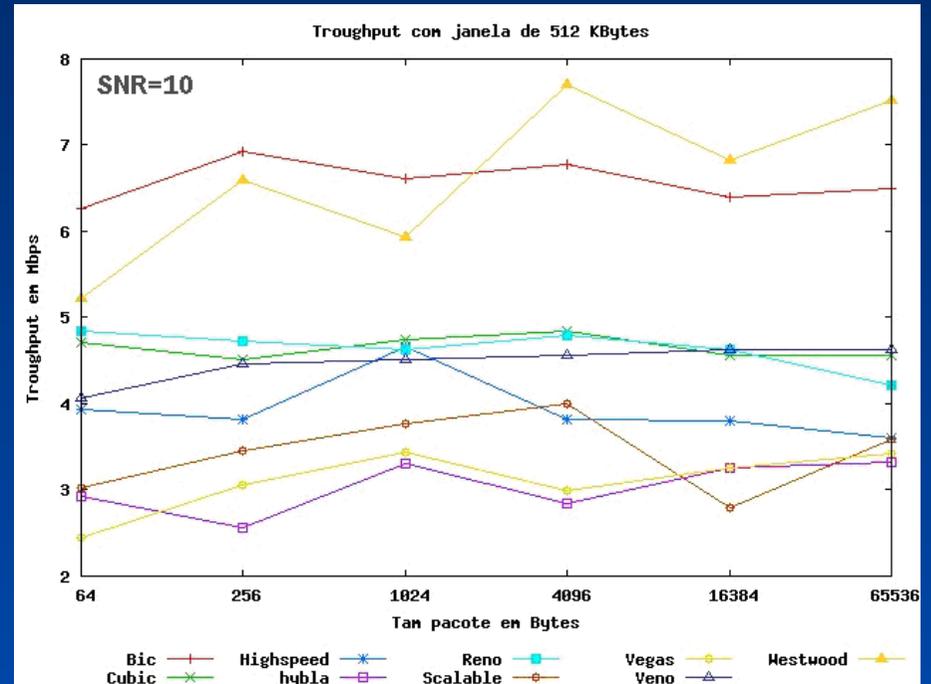


# Resultados

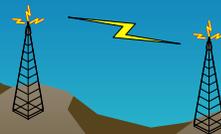
Enlace com visada direta



Enlace com boas condições de sinal  
Buffers = 512 Kbytes  
Não há mais ganho significativo

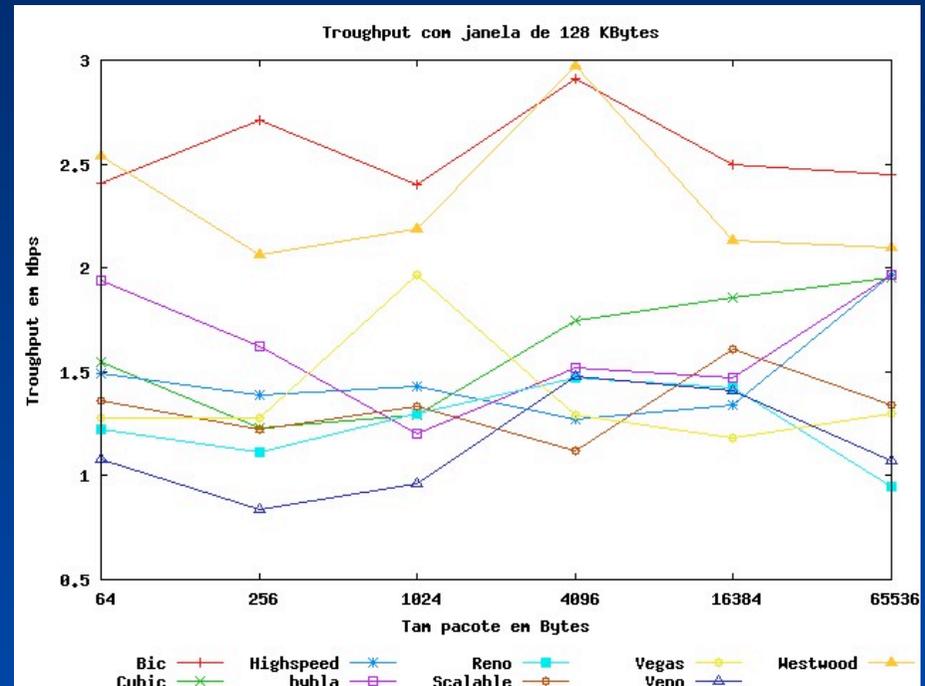
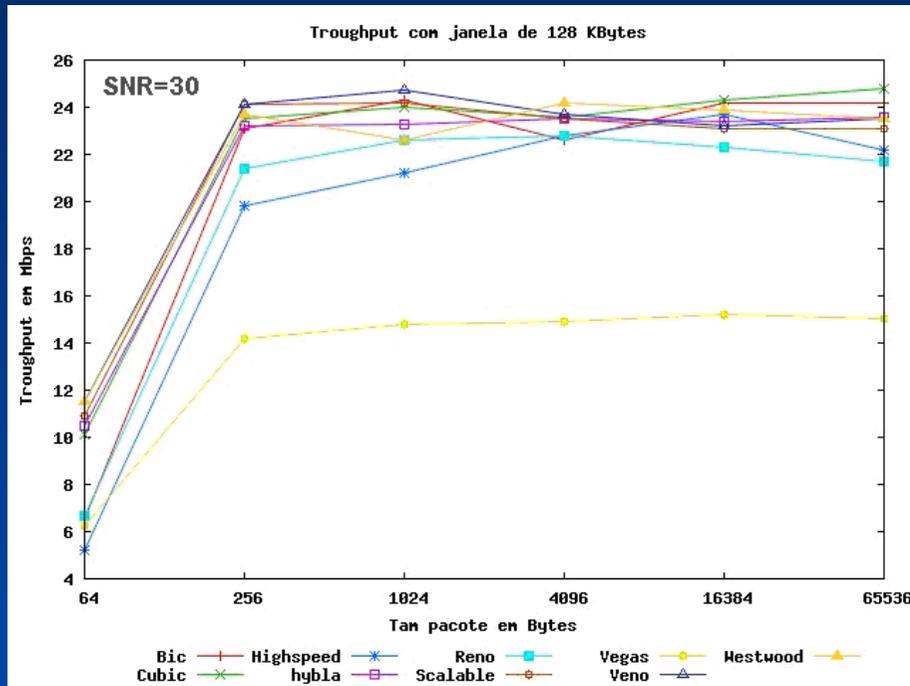


Buffers = 512 Kbytes  
Destaque do Westwood e BIC



# Resultados

## Enlace sem visada direta



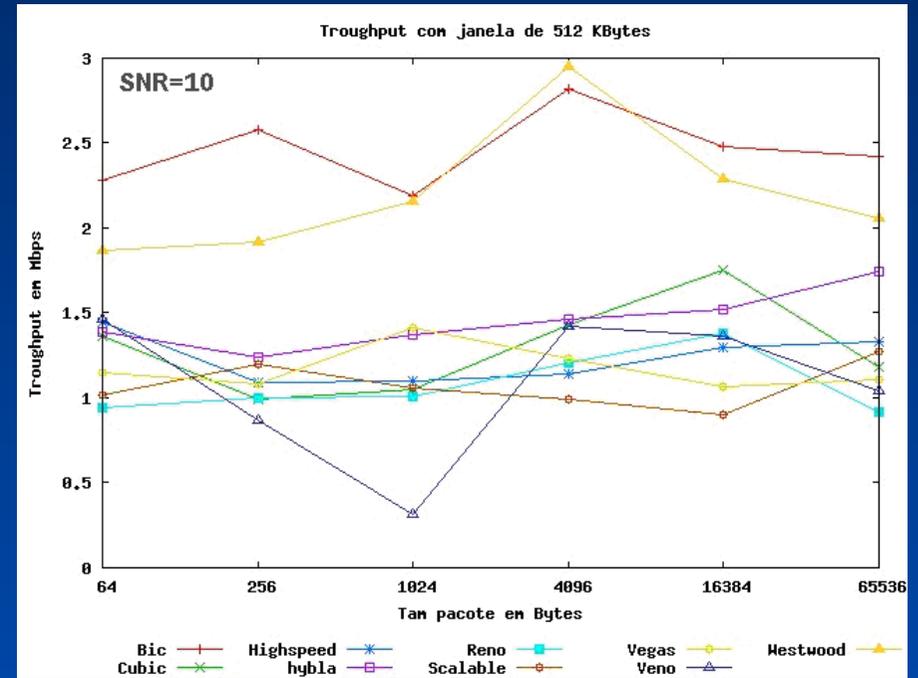
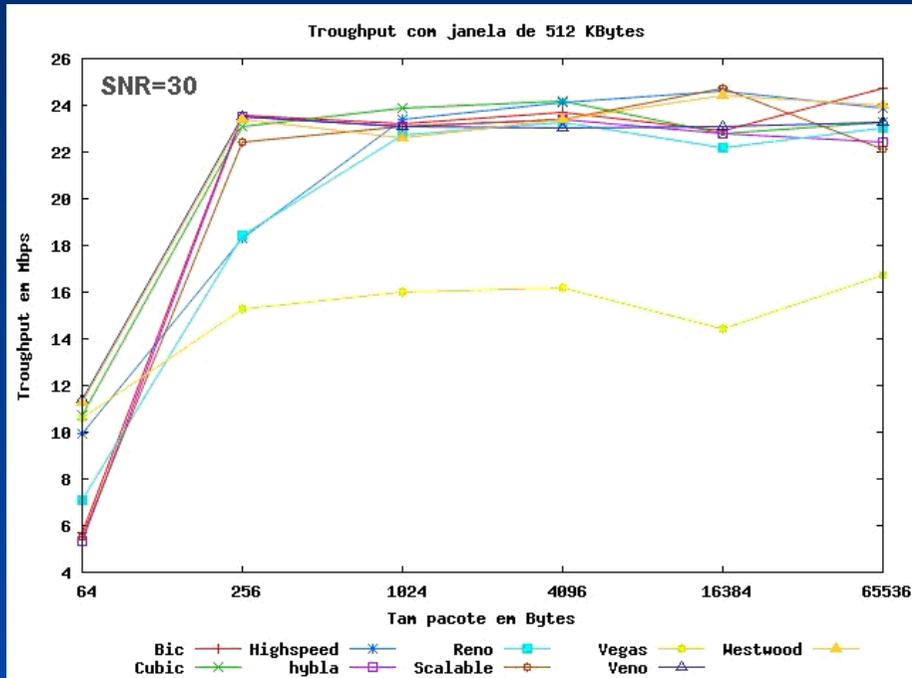
Enlace com boas condições de sinal  
 30 % abaixo em relação ao perfil com visada  
 Não Atinge o limite de banda  
 Buffers = 128 Kbytes

Enlace com degradação  
 Destaque do Westwood e BIC  
 Buffers = 128 Kbytes



# Resultados

Enlace sem visada direta



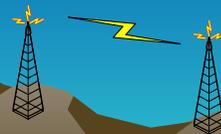
Enlace com boas condições de sinal

Enlace com degradação

Buffers = 512 Kbytes

Destaque do BIC e Westwood

Buffers = 512 Kbytes



# Resultados

---

## Conclusões

- Implementações com maiores desempenhos:
  - TCP Westwood apresentou até 300% de vazão em relação ao pior caso
- Implementações com maior estabilidade:
  - TCP BIC
- O nova tecnologia de acesso à Banda Larga sem fio WiMAX possui mecanismos para minimizar os efeitos de perdas de dados em sua interface aérea através da técnica FEC, evitando retransmissões em nível 3
- Para enlaces com deficiências severas de sinal as retransmissões pelo TCP são inevitáveis, sendo neste caso recomendado a utilização de implementações do TCP mais robustas como Westwood e BIC

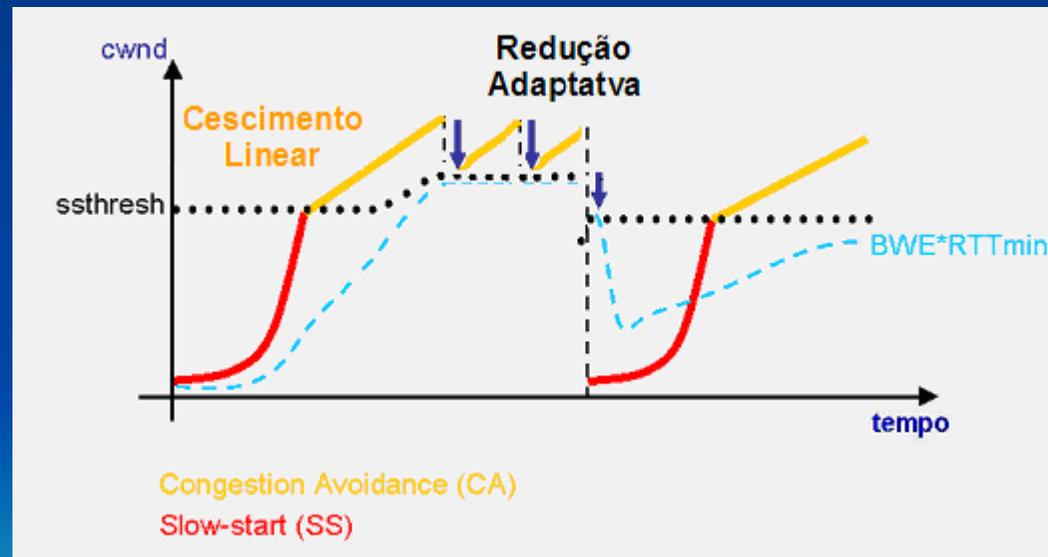


# Resultados

## Conclusões

- Westwood possui mecanismo que estima a banda disponível

$$BWE = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{dWin_i}{RTT_i}}{N}$$



# Equipamentos



Estação base 60° (BS) em  
topo de prédio (*rooftop*)



Estação base 3 setores  
(120°)



Estação Base e assinante



Estação Base



# Referências

ABOUZEID, A. A.; ROY, S.; ZIZOGLU, M. Comprehensive performance analysis of a TCP session over a wireless fading link with queueing. **Wireless Communications, IEEE Transactions on**, v. 2, n. 2, p. 344-356, mar. 2003.

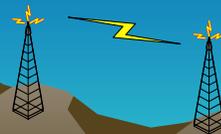
AKYILDIZ, I; WANG, X. A survey on wireless mesh networks. **IEEE Communications Magazine**, . v. 43, n. 9. p. 23 - 30, set. 2005.

ALLMAN, M.; PAXSON, V.; STEVENS W. **TCP Congestion Control**. IETF Request for Comments (RFC 2581).

ANNESE et al. **TCP performance measured over heterogeneous wireless networks with high delay-bandwidth product**. Relatório Técnico: (CNR-ISTI), Unidade de pesquisas da Universidade de Genova, dez. 2001

BARTOON, Jan. **Performance Testing Tools**. Relatório Técnico (n. 18/2003), Associação das Universidades da Republica Checa e Academia de Ciências Checa (CESNET), out. 2003.

MASCOLO, Saverio **Westwood+ TCP**. Departamento de Eletrotécnica e Eletrônica da Escola Politécnica de Bari. Disponível em: <<http://c3lab.poliba.it/index.php/Westwood> >, Acesso em: Ago. 2007



# Obrigado!

[amorim@procempa.com.br](mailto:amorim@procempa.com.br)

